

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :

2 831 923

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

02 13948

⑤1 Int Cl⁷ : F 02 D 41/30, F 01 N 3/025, 3/035

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 07.11.02.

③0 Priorité : 07.11.01 JP 01342134.

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 09.05.03 Bulletin 03/19.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI
KAISHA — JP.

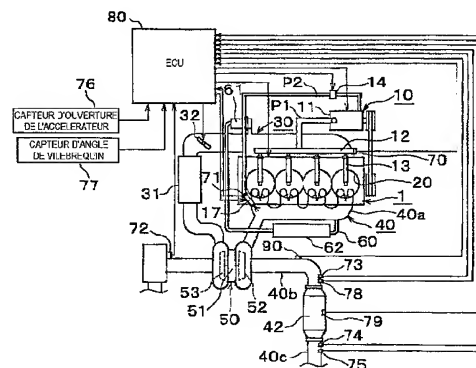
⑦2 Inventeur(s) : SUGIYAMA TATSUMASA, MAT-
SUOKA HIROKI, AOYAMA TARO, OHTSUBO
YASUHIKO, ITO TAKEKAZU et TAHARA JUN.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : NOVAGRAAF BREVETS.

⑤4 SYSTÈME ET PROCÉDE DE PURIFICATION DE GAZ D'ÉCHAPPEMENT DESTINÉS A UN MOTEUR A
COMBUSTION INTERNE.

⑤7 Un système et un procédé de purification de gaz
d'échappement destinés à un moteur à combustion interne
sont réalisés, lesquels utilisent un moyen d'alimentation en
carburant dans la chambre de combustion (13) conçu pour
alimenter une partie d'un carburant devant être injecté dans
des chambres de combustion respectives (20), en tant que
carburant d'injection secondaire, et un moyen d'alimenta-
tion en carburant dans le passage de gaz d'échappement
(17) conçu pour alimenter directement du carburant dans le
passage de gaz d'échappement. Le moyen d'alimenta-
tion en carburant dans la chambre de combustion (13) est utilisé
lorsqu'une injection de carburant secondaire peut être exé-
cutée et qu'une température de lit d'un filtre à particules
(92a) est supérieure ou égale à une première température.
Le moyen d'alimentation en carburant dans le passage de
gaz d'échappement (17) est utilisé lorsqu'une température
dans le passage de gaz d'échappement est supérieure ou
égale à une seconde température et que la température de
lit du filtre (42a) est supérieure ou égale à une troisième
température.



FR 2 831 923 - A1



SYSTEME ET PROCEDE DE PURIFICATION DE GAZ D'ECHAPPEMENT
DESTINES A UN MOTEUR A COMBUSTION INTERNE

2831923

ARRIERE-PLAN DE L'INVENTION

1. Domaine de l'invention

L'invention se rapporte à un système et à un procédé de purification de gaz d'échappement pour un moteur à combustion interne et en particulier à une commande d'alimentation en carburant.

2. Description de la technique apparentée

En ce qui concerne des moteurs à combustion interne utilisés dans des véhicules motorisés, il a été exigé ces dernières années de réduire les émissions d'échappement en éliminant les composants gazeux nocifs, tels que le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures (HC) et les oxydes d'azote (NOx), contenus dans le gaz d'échappement rejeté d'un moteur à combustion interne, avant de relâcher le gaz d'échappement dans l'air ambiant.

Dans le cas d'un moteur diesel en tant que moteur à allumage par compression qui utilise de l'huile légère comme carburant, il est particulièrement important d'éliminer les fines particules appelées "PM" (matière particulaire), telles que la suie et la fraction SOF (fraction organique soluble), contenues dans le gaz d'échappement, de même que le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures (HC), les oxydes d'azote (NOx), etc.

Chaque matière particulaire est un mélange qui comprend de la suie comme constituant principal et une diversité d'autres substances. La suie a pour origine le carburant et constitue une fumée noire. Ces substances constitutives sont classées en substances insolubles, telles que la suie et les sulfates, et en substances solubles (SOF), telles que les composants de carburant imbrûlés et les composants d'huile imbrûlés, suivant qu'ils sont solubles ou non dans un solvant organique.

Vraisemblablement, la suie est produite à la suite de réactions complexes qui se produisent lorsque le carburant brûle avec une quantité insuffisante d'air. Plus particulièrement, les molécules de carburant sont pyrolysées pour être déhydrogénées, en produisant ainsi des noyaux de matières particulaires (précurseurs de la suie). Les noyaux s'agglutinent ensuite pour être liés les uns aux autres, en formant ainsi de la suie. Dans une combustion diesel, une grande quantité de suie est produite durant la combustion diffusive du carburant. Lorsque de l'air est introduit dans une flamme à un stade ultérieur de la

combustion, cependant, une postcombustion a lieu et la suie produite se réduit immédiatement. Des sulfates sont produits sous la forme d'un brouillard d'acide sulfurique lorsque les contenus en soufre sont oxydés pour se lier à l'eau durant la
5 combustion.

Dans un procédé connu, par conséquent, un filtre à particules est disposé dans un passage de gaz d'échappement d'un moteur diesel. Le filtre à particules est constitué d'un substrat comprenant un grand nombre de pores fins formés par des
10 bulles d'air entraînées afin d'augmenter sa surface spécifique par unité de volume. Lorsque le gaz d'échappement circule au travers des pores du filtre, les matières particulaires contenues dans le gaz d'échappement sont adsorbées et sont ainsi piégées sur les surfaces du filtre.

15 Cependant, lorsque des matières particulaires en excès sont rassemblées et accumulées sur le filtre à particules, les trajets du gaz d'échappement dans le filtre sont obstrués, empêchant ainsi l'écoulement du gaz d'échappement.

Lorsque l'écoulement du gaz d'échappement est empêché au
20 niveau du filtre à particules comme décrit ci-dessus, la pression du gaz d'échappement dans une partie du passage de gaz d'échappement située en amont du filtre à particules augmente, et la pression du gaz d'échappement ainsi augmentée agit en tant que contre-pression sur le moteur à combustion interne.

25 Ainsi, il est nécessaire de régénérer le filtre à particules en éliminant les matières particulaires accumulées sur celui-ci avant que leur quantité devienne excessive.

Un procédé de régénération d'un filtre à particules consiste à produire une atmosphère oxydante dans le filtre à particules
30 de façon à oxyder, à savoir brûler, les matières particulaires piégées sur celui-ci.

Cependant, les matières particulaires brûlent à une température élevée de 500 à 700 °C. En vue d'oxyder les matières particulaires piégées de la manière ci-dessus, par conséquent,
35 il est nécessaire d'augmenter la température de l'atmosphère dans le filtre à particules à une température de 500 à 700 °C et de produire une atmosphère à excès d'oxygène autour du filtre à particules.

Cependant, du fait qu'un moteur diesel, exécute en général
40 un fonctionnement de combustion en mélange pauvre dans la

plupart des régions de fonctionnement en produisant des atmosphères riches en air, la température de combustion des mélanges air-carburant tend à être basse et la température du gaz d'échappement tend à par conséquent à être basse. Dans le cas de moteurs diesel, par conséquent, il est difficile d'augmenter la température de l'atmosphère dans le filtre à particules à 500 °C ou plus en utilisant simplement la chaleur du gaz d'échappement.

Au vu de ceci, il a été proposé un filtre à particules d'échappement diesel comme décrit dans la publication de brevet japonais N° 7-106 290. Le filtre à particules d'échappement décrit dans cette publication est capable d'amener les matières particulaires à brûler, même à une température relativement basse d'approximativement 350 à 400 °C, en supportant des substances catalytiques comprenant un mélange d'un métal du groupe du platine et d'un oxyde de métal alcalino-terreux.

Dans des moteurs diesel, cependant, la température du gaz d'échappement augmente difficilement à 350 °C ou plus dans une région de fonctionnement à faible charge, bien qu'elle puisse augmenter à 350 °C ou plus dans une région de fonctionnement à charge élevée. De ce fait, dans un cas où le moteur diesel fonctionne sous une faible charge, en particulier dans un cas où l'injection de carburant est suspendue ou arrêtée lorsque le véhicule décélère par exemple, un gaz d'échappement à basse température est rejeté du moteur diesel. Dans ce cas, le filtre à particules est vraisemblablement refroidi par le gaz d'échappement, ce qui résulte en une réduction de la capacité d'oxydation des matières particulaires du filtre à particules.

Par conséquent, lors de l'oxydation des matières particulaires sur le filtre à particules pendant que le moteur fonctionne sous une faible charge, il est nécessaire de chauffer le filtre à particules à au moins une température minimum en vue de provoquer une oxydation des matières particulaires.

Un procédé d'augmentation de la température du filtre à particules consiste à appliquer du carburant sur le filtre à particules. Dans ce procédé, la température de lit du filtre à particules est augmentée par la chaleur générée lorsque le carburant appliqué est oxydé, de façon à brûler et oxyder ainsi les matières particulaires sur le filtre.

Pour fournir le carburant destiné à augmenter la température de lit du filtre à particules, les procédés suivants sont utilisés. Un premier procédé consiste à exécuter une injection de carburant secondaire. Dans ce procédé, une partie du carburant devant être injectée dans chaque cylindre du moteur en tant que groupe motopropulseur est injectée de façon secondaire après que le processus de combustion du carburant se termine. Ainsi, le carburant est appliqué au filtre par l'éjection du gaz d'échappement alimenté avec le carburant imbrûlé, comme décrit ci-dessus, dans le passage de gaz d'échappement. L'autre procédé consiste à prévoir un dispositif d'injection de carburant dans le passage de gaz d'échappement pour injecter directement le carburant dans le gaz d'échappement.

Le premier procédé dans lequel le carburant est alimenté sous forme de carburant imbrûlé dans les cylindres est caractérisé en ce que le carburant alimenté peut être suffisamment gazéifié. Plus particulièrement, le carburant est injecté sous la forme d'un brouillard dans chaque chambre de combustion présentant une température élevée. Dans ce cas, le carburant est suffisamment gazéifié par évaporation dans chaque chambre de combustion. Ainsi, la réactivité de combustion du carburant sur le filtre à particules est améliorée de sorte que le carburant peut réagir même lorsque la température de lit du filtre à particules approche la température minimum pour provoquer une réaction de combustion du carburant.

Conformément à ce procédé également, même lorsque la répartition de température dans le filtre à particules est irrégulière, où la température d'une partie aval du filtre a atteint la température de réaction alors que la température d'une partie amont ne l'a pas atteinte, le carburant gazéifié traverse la partie amont pour réagir dans la partie aval. Ainsi, il est possible de chauffer entièrement le filtre à particules à une température requise pour provoquer une oxydation des matières particulaires.

Le procédé ci-dessus, dans lequel le carburant est alimenté dans chaque cylindre sous forme de carburant imbrûlé implique cependant des problèmes, comme décrits ci-dessous. Tout d'abord, du fait qu'une partie du carburant devant être convertie en puissance est utilisée, la quantité absolue du carburant devant être alimenté est limitée. Deuxièmement, lorsque le moteur

fonctionne sous une charge élevée, l'alimentation du carburant peut ne pas être permise du fait qu'une diminution résultante du couple est impliquée.

5 A l'inverse, conformément à l'autre procédé dans lequel le carburant est injecté et donc alimenté dans le passage de gaz d'échappement, le carburant est alimenté par l'intermédiaire d'un autre système que celui utilisé pour fournir le carburant dans chaque cylindre du moteur. Il est de ce fait possible d'alimenter une grande quantité de carburant et également
10 d'exécuter l'injection de carburant indépendamment de l'état fonctionnel du moteur.

Cependant, ce procédé dans lequel le carburant est injecté dans le passage de gaz d'échappement amène les problèmes suivants. Du fait que du carburant à l'état liquide est injecté
15 sous la forme d'un brouillard, la température du gaz d'échappement au niveau d'une partie d'injection de carburant, une partie au niveau de laquelle le carburant est injecté, doit être suffisamment élevée pour gazéifier le carburant en un court instant. En outre, le carburant ne peut pas être complètement
20 gazéifié tout en étant alimenté. De ce fait, le filtre à particules, lorsque le carburant réagit sur celui-ci, est privé de chaleur sous forme d'une chaleur latente destinée à convertir le carburant à l'état liquide en un gaz combustible. Par conséquent, la température de lit du filtre à particules n'a pas
25 besoin d'être plus élevée que la température minimum destinée à provoquer une réaction du carburant. De même, lors de l'injection du carburant, une partie du carburant peut se fixer aux tuyaux d'échappement. Dans ce cas, si la température du gaz d'échappement est basse, le carburant fixé peut s'accumuler à
30 l'état liquide. Ainsi, une contre-mesure est nécessaire en particulier dans un cas où le carburant est injecté au niveau d'une partie présentant une forme de piège telle qu'un collecteur.

RESUME DE L'INVENTION

35 Au vu des problèmes ci-dessus, l'invention a été réalisée pour procurer un système et un procédé de purification de gaz d'échappement destinés à un moteur à combustion interne, conçue pour sélectionner un procédé d'alimentation en carburant efficace sur la base de diverses conditions d'un moteur à
40 combustion interne et d'un système d'échappement de façon à

éliminer les matières particulaires accumulées sur un filtre à particules.

Le système de purification de gaz d'échappement de l'invention comprend un filtre qui est disposé dans un passage de gaz d'échappement du moteur à combustion interne et qui sert à piéger les matières particulaires contenues dans le gaz d'échappement, un moyen d'alimentation en carburant dans la chambre de combustion destiné à injecter un carburant secondaire en plus d'un carburant d'injection principal qui est converti en puissance dans chaque chambre de combustion du moteur à combustion interne, et un moyen d'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement qui est disposé dans le passage de gaz d'échappement et qui sert à injecter le carburant dans le gaz d'échappement. Lorsque l'injection de carburant secondaire peut être exécutée et que la température de lit du filtre est supérieure ou égale à une première température, une température qui provoque l'oxydation d'un gaz combustible, le système de purification de gaz d'échappement conçu comme décrit ci-dessus injecte du carburant grâce au moyen d'alimentation en carburant dans la chambre de combustion. Par ailleurs, lorsque la température du gaz d'échappement est supérieure ou égale à une seconde température, une température qui ne provoque pas de condensation du carburant injecté dans le passage de gaz d'échappement, et à une troisième température, une température qui provoque une oxydation du gaz combustible comprenant des gouttelettes de carburant, le système de purification de gaz d'échappement injecte du carburant grâce au moyen d'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement.

Le système de purification de gaz d'échappement est conçu pour appliquer le carburant au filtre en exécutant sélectivement l'injection de carburant secondaire dans chaque chambre de combustion et l'injection de carburant dans le passage de gaz d'échappement conformément aux conditions thermiques des éléments périphériques, dont chacune varie suivant l'état fonctionnel du moteur à combustion interne.

C'est-à-dire que lorsqu'une condition liée au moteur à combustion interne nécessitant que le moteur à combustion interne fonctionne sous une faible charge de sorte que l'injection de carburant secondaire puisse être exécutée et qu'une condition liée à la température de lit du filtre

nécessitant que la température de lit soit supérieure ou égale à une température prédéterminée sont toutes deux satisfaites, le système de purification de gaz d'échappement exécute l'alimentation du carburant en réalisant l'injection de carburant secondaire dans chaque chambre de combustion. Par ailleurs, lorsqu'une condition liée au passage de gaz d'échappement nécessitant que la température dans le passage de gaz d'échappement soit supérieure ou égale à une température prédéterminée et qu'une condition liée à la température de lit du filtre nécessitant que la température de lit du filtre soit supérieure ou égale à la température prédéterminée sont toutes deux satisfaites, le système de purification de gaz d'échappement exécute l'alimentation du carburant en injectant du carburant dans le passage de gaz d'échappement.

De même, il peut arriver que les conditions permettent que l'alimentation du carburant soit exécutée par l'un ou l'autre des deux moyens d'alimentation en carburant ci-dessus. C'est-à-dire qu'il s'agit d'un cas où l'injection de carburant secondaire dans chaque chambre de combustion peut être exécutée et où la température de lit du filtre est supérieure ou égale à la fois à la première température qui provoque une oxydation d'un gaz combustible et à la troisième température qui provoque une oxydation d'un gaz combustible contenant des gouttelettes de carburant et où la température dans le passage de gaz d'échappement est supérieure ou égale à la seconde température qui ne provoque pas de condensation du carburant injecté dans le passage de gaz d'échappement. Dans ce cas, le système de purification de gaz d'échappement exécute l'alimentation du carburant par l'un du moyen d'alimentation en carburant dans la chambre de combustion et du moyen d'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement ou les deux.

Comme décrit ci-dessus, la température de lit du filtre est adoptée en tant que condition pour l'exécution de l'alimentation en carburant par l'un ou l'autre du moyen d'alimentation en carburant dans la chambre de combustion et du moyen d'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement. La première température, qui doit être satisfaite lors de l'alimentation du carburant par le moyen d'alimentation en carburant dans la chambre de combustion, est une température minimum destinée à provoquer l'oxydation du carburant sur le

filtre. Par ailleurs, la troisième température, qui doit être satisfaite lors de l'alimentation du carburant par le moyen d'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement, est une température minimum destinée à provoquer
5 une oxydation du carburant, même après que le filtre soit privé de chaleur latente en vue de gazéifier complètement un gaz combustible comprenant des gouttelettes de carburant. Ainsi, en raison de la chaleur latente générée lorsque le carburant est converti en un gaz combustible comme décrit ci-dessus, la
10 troisième température doit être supérieure à la première température.

Lorsque le carburant est alimenté par le moyen d'alimentation en carburant dans la chambre de combustion, le carburant est complètement gazéifié dans chaque chambre de
15 combustion présentant une température élevée avant d'être appliqué au filtre, en obtenant ainsi une réactivité de combustion souhaitable du carburant. Ainsi, une réaction de combustion du carburant peut être provoquée même à la première température dans une plage de températures basses. Par ailleurs,
20 lorsque le carburant est alimenté en l'injectant dans le passage de gaz d'échappement, le carburant est injecté sous la forme d'un brouillard et est ensuite gazéifié par l'atmosphère autour de la partie d'injection de carburant avant d'être appliqué au filtre. Dans certains cas, cependant, le carburant injecté n'est
25 pas entièrement gazéifié suivant l'état de l'atmosphère ambiante. De ce fait, l'alimentation du carburant n'est permise que lorsque la température de lit du filtre est supérieure ou égale à la troisième température dans une plage de températures élevées.

30 En association avec les première et troisième températures, la seconde température doit être une température qui ne provoque pas de condensation du carburant injecté dans le passage de gaz d'échappement, à savoir, qui est une température à laquelle le carburant injecté dans le passage de gaz d'échappement peut être
35 maintenue sans accumulation sous forme de carburant liquide dans le passage.

Le filtre supporte un catalyseur des NOx de type à réduction de stockage. Ce catalyseur est capable de stocker les oxydes d'azote contenus dans le gaz d'échappement lorsque la
40 concentration en oxygène dans le gaz d'échappement est élevée et

de libérer les oxydes d'azote stockés lorsque la concentration en oxygène diminue et que du carburant servant d'agent réducteur est présent.

En plus de la caractéristique décrite ci-dessus, le catalyseur des NOx de type à réduction de stockage sert également à activer l'oxygène dans le gaz d'échappement lorsque la concentration en oxygène dans le gaz d'échappement est élevée et à réduire les oxydes d'azote et à produire de l'oxygène actif lorsque la concentration en oxygène diminue et que du carburant servant d'agent réducteur est présent. L'oxygène actif ainsi produit est utilisé pour éliminer les oxydes d'azote dans le gaz d'échappement et agit également en tant qu'agent oxydant utilisé dans la combustion des matières particulaires.

Dans l'invention, par conséquent, les matières particulaires accumulées sur le filtre à particules peuvent être efficacement éliminées selon diverses conditions liées au moteur à combustion interne et au système d'échappement.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

Le mode de réalisation d'exemple mentionné ci-dessus, ainsi que d'autres modes de réalisation d'exemple, buts, caractéristiques, avantages, points importants techniques et industriels de cette invention seront mieux compris en lisant la description détaillée suivante des modes de réalisation d'exemple de l'invention, lorsqu'elle est examinée en liaison avec les dessins annexés, dans lesquels :

La figure 1 est une vue représentant de façon simplifiée une conception d'un système de moteur diesel incorporant un système de purification de gaz d'échappement conforme à un mode de réalisation de l'invention,

La figure 2 est une vue représentant de façon simplifiée une conception d'une unité de commande électronique (ECU) du système de purification de gaz d'échappement conforme à un mode de réalisation de l'invention, et une configuration périphérique de celle-ci,

La figure 3 est une vue représentant de façon simplifiée une coupe transversale d'un boîtier de catalyseur du système de purification de gaz d'échappement conforme à un mode de réalisation de l'invention,

La figure 4 est une vue représentant de façon simplifiée des coupes transversales d'un moteur à combustion interne et d'un

système d'échappement lorsqu'une injection de carburant dans les chambres de combustion est exécutée selon un mode de réalisation de l'invention,

5 La figure 5 est une vue représentant de façon simplifiée des coupes transversales du moteur à combustion interne et du système d'échappement lorsqu'une injection de carburant dans le passage de gaz d'échappement est exécutée selon un mode de réalisation de l'invention,

10 La figure 6 est un organigramme représentant un sous-programme de commande de l'élimination des matières PM mis en oeuvre dans un mode de réalisation de l'invention, et

15 La figure 7 est une vue représentant de façon simplifiée une coupe transversale d'un boîtier de catalyseur comprenant un dispositif de filtrage conforme à un exemple de modification du mode de réalisation de l'invention, et qui correspond à la figure 3.

DESCRIPTION DETAILLEE DES MODES DE REALISATION PREFERES

20 Dans la description suivante et les dessins annexés, l'invention sera décrite plus en détail en ce qui concerne des modes de réalisation d'exemple.

25 L'invention sera décrite ci-après en faisant référence à des modes de réalisation de celle-ci. Dans les modes de réalisation, le système et le procédé de purification de gaz d'échappement conformes à l'invention sont incorporés dans un système de moteur diesel.

30 En se référant à la figure 1, un moteur à combustion interne (qui sera appelé ci-après "moteur" lorsque cela s'applique) 1 est un système de moteur diesel à quatre cylindres en ligne. Le moteur 1 comprend en tant que composants principaux un système d'alimentation en carburant 10, des chambres de combustion 20, un système d'admission 30, un système d'échappement 40, etc.

35 Le système d'alimentation en carburant 10 comprend une pompe d'alimentation 11, un accumulateur (rampe d'injection) 12, des soupapes d'injection de carburant 13, une soupape de coupure 14, une buse d'alimentation en carburant 17, un passage de carburant du moteur P1, un passage de carburant d'alimentation P2 et d'autres composants.

40 La pompe d'alimentation 11 est conçue pour mettre sous pression élevée le carburant délivré depuis un réservoir de carburant (non représenté) et pour le fournir à la rampe

d'injection 12 par l'intermédiaire du passage de carburant du moteur P1. La rampe d'injection 12 agit en tant qu'accumulateur afin de maintenir le carburant à haute pression fourni depuis la pompe d'alimentation 11 à une pression élevée prédéterminée, et distribue le carburant accumulé aux soupapes d'injection de carburant 13. Chacune des soupapes d'injection de carburant 13 est une soupape électromagnétique comprenant un solénoïde électromagnétique (non représenté) prévu dans celle-ci, et est commandée pour s'ouvrir selon les besoins afin d'injecter le carburant dans une chambre correspondante parmi les chambres de combustion 20.

La pompe d'alimentation 11 fournit une partie du carburant du réservoir de carburant à la buse d'alimentation en carburant 17 par l'intermédiaire du passage de carburant d'alimentation P2. Dans le passage de carburant d'alimentation P2, la soupape de coupure 14 est disposée entre la pompe d'alimentation 11 et la buse d'alimentation en carburant 17. La soupape de coupure 14 sert à couper le passage d'alimentation en carburant P2 afin d'arrêter l'alimentation en carburant en cas d'urgence. Comme les soupapes d'injection de carburant 13, la buse d'alimentation en carburant 17 est une soupape électromagnétique, et est conçue pour injecter le carburant servant d'agent réducteur dans le système d'échappement 40.

Le système d'admission 30 forme un passage (un passage d'admission) de l'air d'admission devant être fourni dans chaque chambre de combustion 20. Par ailleurs, le système d'échappement 40 forme un passage (un passage de gaz d'échappement) du gaz d'échappement émis depuis chaque chambre de combustion 20.

En outre, le moteur 1 est équipé d'un surcompresseur connu (c'est-à-dire un turbocompresseur à suralimentation) 50. Le turbocompresseur à suralimentation 50 comprend une roue de turbine 52 et un compresseur 53 couplés l'un à l'autre par l'intermédiaire d'un arbre 51. Le compresseur 53 est exposé à l'air d'admission dans le système d'admission 30, alors que la roue de turbine 52 est exposée au gaz d'échappement dans le système d'échappement 40. Le turbocompresseur à suralimentation 50 ainsi conçu agit (une fonction de surcompression) pour augmenter la pression de l'air d'admission grâce à la rotation du compresseur 53, en utilisant l'énergie hydrodynamique de

l'écoulement du gaz d'échappement auquel la roue de turbine 52 est soumise.

Dans le système d'admission 30, un refroidisseur intermédiaire 31 est prévu dans le turbocompresseur à suralimentation 50, et est conçu pour refroidir énergiquement l'air d'admission chauffé lorsqu'il est surcomprimé. Un papillon des gaz 32 est prévu en aval du refroidisseur intermédiaire 31. Le papillon des gaz 32 est un clapet d'ouverture-fermeture à commande électronique capable de modifier sa valeur d'ouverture de façon continue, et agit pour ajuster (diminuer) la quantité d'alimentation de l'air d'admission en réduisant la surface d'un trajet d'écoulement de l'air d'admission dans des conditions prédéterminées.

Dans le moteur 1, il est également prévu un passage de recirculation de gaz d'échappement (un passage RGE) 60. Le passage RGE 60 sert de dérivation pour faire communiquer des parties amont et aval des chambres de combustion 20 (parties dans le système d'admission 30 et le système d'échappement 40). Plus particulièrement, le passage RGE 60 fait communiquer un collecteur d'échappement 40a en amont du turbocompresseur à suralimentation 50 dans le système d'échappement 40 et une partie du système d'admission 30 en aval du papillon des gaz 32. Durant le fonctionnement du moteur 1, une partie du gaz d'échappement est ramenée par l'intermédiaire du passage RGE 60 vers le système d'admission 30 selon les besoins. Le passage RGE 60 est muni d'une soupape RGE 61 qui est commandée électroniquement pour être ouverte et fermée en continu ou sans palier et est ainsi capable d'ajuster avec souplesse la quantité du gaz d'échappement circulant dans le passage RGE 60. Le passage RGE 60 est également muni d'un refroidisseur RGE 62 servant à refroidir le gaz d'échappement traversant le passage RGE 60 tout en étant mis en recirculation.

En outre, du côté aval d'une partie du système d'échappement 40 dans laquelle le collecteur d'échappement 40a relié aux chambres de combustion respectives 20 et la roue de turbine 52 sont disposés, un passage de gaz d'échappement 40b, un boîtier de catalyseur des NOx 42, et un passage de gaz d'échappement 40c sont disposés à la suite le long de l'écoulement du gaz d'échappement. Le boîtier de catalyseur 42 loge un catalyseur des NOx de type à réduction de stockage 42b en vue d'éliminer

les composants nocifs contenus dans le gaz d'échappement tels que les NOx, et un filtre à particules 42a destiné à éliminer les matières particulaires (MP) contenues dans le gaz d'échappement, telles que la suie, en même temps que les composants nocifs comme les NOx, comme décrit ultérieurement (se
5 référer à la figure 3). Dans le mode de réalisation, le boîtier de catalyseur 42 est également appelé dispositif de filtrage 42.

En outre, divers capteurs sont installés dans des parties respectives du moteur 1. Chacun des capteurs génère un signal
10 indicatif d'une condition de l'environnement d'une partie correspondante du moteur 1 ou de l'état de fonctionnement du moteur 1.

Plus particulièrement, un capteur de pression de rampe 70 génère un signal de détection indicatif de la pression du
15 carburant accumulé dans la rampe d'injection 12. Un capteur de pression de carburant 71 génère un signal de détection indicatif d'une pression (une pression de carburant) P_g du carburant qui traverse le passage de carburant d'alimentation P2 et qui doit être introduit dans la buse d'alimentation en carburant 17. Un
20 débitmètre d'air 72 est prévu dans une partie du système d'admission 30 en amont du papillon des gaz 32 et génère un signal de détection indicatif d'une quantité (quantité d'air d'admission) G_a de l'air d'admission. Un capteur de rapport air-carburant (A/C) 73 est prévu dans une partie du système
25 d'échappement 40 en amont du boîtier de catalyseur 42 et génère un signal de détection qui change en continu conformément à la concentration en oxygène dans le gaz d'échappement. Un capteur de température de gaz d'échappement 74 est également prévu dans une partie du système d'échappement 40 en aval du boîtier de
30 catalyseur 42, et génère un signal de détection indicatif d'une température d'échappement TEX du gaz d'échappement. De même, un capteur de NOx 75 est également prévu dans une partie du système d'échappement 40 en aval du boîtier de catalyseur 42, et génère un signal de détection qui change en continu conformément à la
35 concentration en NOx dans le gaz d'échappement. Un capteur de température du gaz d'échappement entrant dans le catalyseur 78 est prévu dans une partie du système d'échappement 40 près d'une entrée du boîtier de catalyseur 42 et génère un signal de détection indicatif de la température du gaz d'échappement
40 s'écoulant dans le boîtier de catalyseur 42. Un capteur de

température de lit de filtre 79 est prévu dans le boîtier de catalyseur 42 et génère un signal de détection indicatif de la température de lit du catalyseur. Un capteur de pression 90 est prévu en amont du boîtier de catalyseur 42 et génère un signal de détection indicatif de la pression dans le passage de gaz d'échappement.

En outre, un capteur d'ouverture d'accélérateur 76 est fixé à une pédale d'accélérateur (non représentée) et génère un signal de détection indicatif d'une quantité d'enfoncement ACC de la pédale d'accélérateur, qui est utilisée comme base pour déterminer la charge de travail requise. Un capteur d'angle de vilebrequin 77 est conçu pour générer un signal de détection (impulsion) à chaque fois qu'un arbre de sortie (un vilebrequin) du moteur 1 tourne d'un angle prédéterminé. Chacun de ces capteurs 70 à 79 et 90 est électriquement relié à une unité de commande électronique (ECU) 80.

Comme représenté sur la figure 2, l'unité ECU 80 comprend une unité de traitement centrale (UC) 81, une mémoire morte (ROM) 82, une mémoire vive (RAM) 83, une mémoire RAM de sauvegarde 84 qui conserve les informations enregistrées même après les arrêts de fonctionnement, un compteur temporisateur 85, etc. Ces composants 81 à 85, un circuit d'entrée externe 86 comprenant un convertisseur A/N et un circuit de sortie externe 87 sont reliés entre eux par l'intermédiaire d'un bus bidirectionnel 88, formant ainsi un circuit de calcul logique.

L'unité ECU 80 est agencée pour recevoir les signaux de détection provenant des capteurs respectifs par l'intermédiaire du circuit d'entrée externe, et pour exécuter des commandes de base, telles qu'une commande d'injection de carburant dans le moteur 1, en exécutant un programme mémorisé dans la mémoire ROM 82 sur l'unité UC 81. Lors de l'alimentation, l'unité ECU 80 exécute diverses autres commandes liées à l'état de fonctionnement du moteur 1, telles qu'une commande d'alimentation redondante (carburant), une commande exécutée lors de l'alimentation en agent réducteur (par exemple du carburant servant d'agent réducteur) en vue de déterminer la quantité de carburant devant être injectée et un cadencement pour alimenter le carburant.

Comme décrit ci-dessus, le système de purification de gaz d'échappement du moteur 1 est constitué par le système

d'alimentation en carburant 10 agencé pour fournir le carburant à chaque cylindre par l'intermédiaire d'une soupape correspondante parmi les soupapes d'injection de carburant 13, le catalyseur des NOx et le filtre à particules disposés dans le système d'échappement 40, l'unité ECU 80 qui peut être mise en oeuvre pour commander les fonctions du système d'alimentation en carburant 10, du catalyseur des NOx, du filtre à particules et des autres composants. Ainsi, les commandes comprenant la commande d'alimentation en carburant décrite ci-dessus sont exécutées grâce aux opérations de l'unité ECU 80, qui génère des signaux de commande se rapportant aux commandes, et des autres composants constituant le système de purification de gaz d'échappement.

Ensuite, la conception et la fonction du boîtier de catalyseur 42 disposé dans le système d'échappement 40 en tant que l'un des composants constituant le moteur 1 seront décrites en détails.

La figure 3 est une vue en coupe agrandie représentant une partie de la structure interne du boîtier de catalyseur 42 représenté sur la figure 1. Le boîtier de catalyseur 42 loge le filtre à particules 42a supportant le catalyseur des NOx de type à réduction de stockage 42b.

Le catalyseur des NOx 42b comprend un support formé, par exemple, d'alumine (Al_2O_3) comme matériau principal, au moins un élément supporté sur la surface du support et choisi parmi un métal alcalin tel que le potassium (K), le sodium (Na), le lithium (Li) et le césium (Cs), un métal alcalino-terreux tel que le baryum (Ba) et le calcium (Ca), et un métal de terre rare tel que l'yttrium (Y), et au moins un métal rare agissant comme catalyseur d'oxydation (un catalyseur de métal rare), tel que le platine (Pt), également supporté sur le support.

Le filtre à particules 42a est formé d'un matériau poreux tel que la cordiélite. Du fait que chaque extrémité du filtre à particules 42a est fermée, le gaz d'échappement qui s'est écoulé dans un passage de gaz d'échappement entrant passe au travers d'une partie environnante constituée du matériau poreux et pénètre dans un passage de gaz d'échappement sortant voisin, comme représenté par des flèches sur la figure 3.

Dans le mode de réalisation, dans le filtre à particules 42a, une couche du support constitué d'alumine ou autre est

prévue sur une surface de la séparation et sur la surface interne de chaque pore de la séparation. Sur ce support, le catalyseur des NOx 42b constitué du catalyseur de métal rare et d'un absorbant des NOx est supporté.

5 L'absorbant des NOx a la propriété de stocker (absorber) les NOx lorsque la concentration en oxygène dans le gaz d'échappement est élevée et de libérer les NOx lorsque la concentration en oxygène dans le gaz d'échappement est basse. De même, lorsque les NOx sont libérés dans le gaz d'échappement où
10 des substances telles que HC et CO sont présentes, le catalyseur de métal rare favorise l'oxydation de HC et de CO en provoquant ainsi des réactions d'oxydation-réduction entre les NOx en tant que substances oxydantes et HC et CO en tant que substances réductrices. Il en résulte que HC et CO sont respectivement
15 oxydés en CO₂ et en H₂O alors que les NOx sont réduits en N₂.

Dans ce cas, lors de l'oxydation de HC favorisée par le catalyseur de métal rare constituant le catalyseur des NOx 42b comme décrit ci-dessus, une chaleur de réaction est générée pour augmenter la température de lit du catalyseur des NOx 42b.

20 Dans le même temps, lorsque l'absorbant des NOx a absorbé les NOx jusqu'à une quantité limite prédéterminée, il arrête de stocker tous NOx supplémentaires même si la concentration en oxygène dans le gaz d'échappement est élevée. Dans le moteur 1, de ce fait, un agent réducteur est fourni à une partie du
25 passage de gaz d'échappement en amont du boîtier de catalyseur 42 afin de réactiver le catalyseur des NOx 42b en réduisant et en éliminant ainsi les NOx absorbés. Cette commande est exécutée de façon répétée à des intervalles prédéterminés de façon à récupérer une capacité de stockage des NOx (une capacité
30 d'absorption des NOx) du catalyseur des NOx 42b avant que les NOx soient stockés (absorbés) à la quantité limite.

Le catalyseur des NOx 42b supporté sur le filtre à particules 42a est chauffé tout en exécutant de façon répétée une série de traitements pour piéger, réduire et éliminer les
35 NOx comme décrit ci-dessus. A ce moment, le catalyseur des NOx génère de façon secondaire de l'oxygène actif. Lorsque le gaz d'échappement traverse le filtre à particules 42a, les matières particulaires contenues dans le gaz d'échappement telles que la suie sont piégées par le matériau poreux. Les matières
40 particulaires piégées réagissent immédiatement avec l'oxygène

actif agissant comme un oxydant présentant une réactivité (activité) extrêmement élevée. Ainsi, les matières particulaires sont éliminées sans générer de flammes lumineuses sur le catalyseur des NOx 42b chauffé à la suite de l'alimentation du carburant.

Ci-après, des procédés et des méthodes pour l'élimination des NOx seront décrits en détail.

Dans des moteurs diesel, en général, la concentration en oxygène dans les mélanges air-carburant devant être brûlés dans les chambres de combustion est élevée dans la plupart des régions fonctionnelles des moteurs. Habituellement, la concentration en oxygène dans un mélange air-carburant avant d'être brûlé dans les chambres de combustion est directement reflétée par la concentration en oxygène dans le gaz d'échappement. Plus particulièrement, la concentration en oxygène dans le mélange air-carburant diminue après la combustion de celui-ci d'un degré correspondant à la quantité d'oxygène utilisée dans la combustion. Lorsque la concentration en oxygène (rapport air-carburant) dans le mélange air-carburant est élevée, de ce fait, la concentration en oxygène dans le gaz d'échappement devient fondamentalement élevée de manière similaire.

Comme décrit ci-dessus, le catalyseur des NOx 42b a la propriété de stocker les NOx lorsque la concentration en oxygène dans le gaz d'échappement est élevée et de réduire les NOx en NO₂ ou en NO lorsque la concentration en oxygène dans le gaz d'échappement est basse. Ainsi, le catalyseur des NOx continue d'absorber les NOx tant que la concentration en oxygène dans le gaz d'échappement est élevée. Cependant, la quantité des NOx qui peut être stockée dans le catalyseur des NOx est limitée, comme décrit ci-dessus. Dans un cas où le catalyseur des NOx 42b a déjà absorbé les NOx à la quantité limite, de ce fait, les NOx dans le gaz d'échappement ne sont pas piégés par le catalyseur des NOx mais traversent le boîtier de catalyseur 42 tels quels.

Dans le cas ci-dessus, un agent réducteur doit être appliqué à l'absorbant des NOx pour récupérer la capacité de stockage des NOx du catalyseur des NOx comme décrit ci-dessus. Lorsque le carburant est injecté d'une manière normale, il est cependant difficile, en ce qui concerne la conception du moteur, de

produire un gaz d'échappement contenant beaucoup de carburant servant d'agent réducteur.

Dans le mode de réalisation, de ce fait, le carburant est alimenté dans le gaz d'échappement en utilisant les procédés décrits ci-dessus. Un premier procédé consiste à fournir du carburant imbrûlé en injectant un carburant secondaire en plus d'un carburant principal devant être converti en puissance dans chaque chambre de combustion du moteur à combustion interne, et l'autre procédé consiste à injecter du carburant dans le gaz d'échappement en utilisant le moyen d'alimentation en carburant prévu dans le passage de gaz d'échappement. En utilisant l'un de ces procédés ou les deux, la quantité du réducteur dans le gaz d'échappement est augmentée afin de récupérer la capacité de stockage des NOx du catalyseur des NOx.

L'unité ECU 80 du moteur 1 détecte en permanence la concentration en NOx dans le gaz d'échappement dans une partie du système d'échappement 40 en aval du catalyseur des NOx 42b sur la base d'un signal de sortie provenant du capteur des NOx 75. La capacité de stockage des NOx (l'efficacité de stockage des NOx) du catalyseur des NOx 42b diminue à mesure que la quantité des NOx stockée dans le catalyseur des NOx 42b augmente, en d'autres termes, à mesure que la quantité des NOx stockée dans le catalyseur des NOx 42 se rapproche d'une quantité maximum (une quantité de saturation) des NOx pouvant être stockée dans le catalyseur des NOx 42b. C'est-à-dire que lorsque la quantité des NOx stockée dans le catalyseur des NOx 42b augmente, une plus grande quantité des NOx traverse le boîtier de catalyseur 42 telle quelle pour être rejetée vers le côté aval, augmentant ainsi la concentration en NOx du gaz d'échappement dans celui-ci. Avec une telle relation corrélative entre la concentration en NOx dans le gaz d'échappement et la quantité des NOx stockée dans le catalyseur des NOx 42b, il est possible de déterminer la quantité des NOx stockée dans le catalyseur des NOx 42b sur la base de la concentration en NOx détectée.

Dans le mode de réalisation, ainsi, l'unité ECU 80 est agencée pour déterminer que la quantité des NOx stockée dans le catalyseur des NOx 42b a atteint une quantité prédéterminée lorsque la concentration en NOx dans une partie du système d'échappement 40 en aval du boîtier de catalyseur 42 dépasse une

valeur prédéterminée. Lorsqu'il est déterminé que les NOx se sont accumulés à la quantité prédéterminée, du carburant est fourni à une partie du système d'échappement 40 en amont du boîtier de catalyseur 42. Plus particulièrement, du carburant
5 est alimenté dans le gaz d'échappement sous forme de carburant imbrûlé en utilisant le moyen d'alimentation en carburant, augmentant ainsi temporairement la quantité du réducteur dans le gaz d'échappement. A ce moment, le rapport air-carburant diminue pour amener les NOx stockés dans le catalyseur à réagir avec le
10 carburant servant d'agent réducteur, pour être ainsi éliminés.

Ensuite, les procédés et les méthodes destinés à éliminer les matières particulaires (qui seront appelées ci-après "MP" lorsque cela s'applique) contenues dans le gaz d'échappement seront décrits.

15 Comme les NOx, les matières particulaires sont éliminées en utilisant le carburant. L'élimination des NOx est effectuée en utilisant des réactions chimiques entre HC en tant que constituant principal du carburant et les NOx comme décrit ci-dessus. Dans le cas de l'élimination des matières particulaires,
20 par contre, HC est principalement utilisé en tant que source de chaleur pour augmenter la température de lit du catalyseur de sorte que les matières particulaires et l'oxygène (O₂) soient activés pour amener les matières particulaires à être oxydées et ainsi éliminées.

25 C'est-à-dire que l'élimination des matières particulaires est réalisée en utilisant le carburant comme source de chaleur dans le filtre à particules 42a, à savoir en utilisant la réactivité de combustion du carburant.

Dans un exemple d'un procédé de commande destiné à éliminer
30 les matières particulaires de la manière ci-dessus, l'unité UC 81 exécute un programme mémorisé dans la mémoire ROM 82 pour effectuer une estimation comparative sur un historique de fonctionnement enregistré dans la mémoire RAM de sauvegarde 84, un signal provenant du capteur de pression 90 disposé dans le
35 passage de gaz d'échappement, etc. L'historique de fonctionnement est établi sur la base des signaux de sortie provenant du capteur d'ouverture de l'accélérateur 76, du capteur d'angle de vilebrequin 77, du compteur temporisateur 85 et d'autres composants. Conformément au résultat de
40 l'estimation, il est déterminé s'il faut exécuter l'alimentation

du carburant en tant que procédé d'élimination des matières particulaires.

De même, dans le cas de l'élimination des matières particulaires, le carburant est alimenté selon les mêmes
5 procédés que ceux employés pour l'élimination des NOx. C'est-à-dire qu'un premier procédé consiste à exécuter une injection de carburant secondaire (un moyen d'alimentation en carburant dans les chambres de combustion). Dans l'injection de carburant
10 secondaire, une partie du carburant principal devant être converti en puissance dans chaque chambre de combustion du moteur à combustion interne est injectée après que le processus de combustion du carburant principal se termine, fournissant ainsi un carburant imbrûlé dans le gaz d'échappement comme représenté sur la figure 4. L'autre procédé consiste à prévoir
15 un dispositif ou un appareil d'injection de carburant dans le passage de gaz d'échappement (un moyen d'alimentation en carburant dans le passage d'échappement). Dans ce procédé, le carburant est directement injecté dans le gaz d'échappement comme représenté sur la figure 5. Ces procédés ont des
20 caractéristiques différentes, et la caractéristique de chaque procédé est l'un des facteurs devant être reflété dans l'estimation ci-dessus concernant le fait de savoir s'il faut exécuter l'alimentation du carburant.

Ci-après, les caractéristiques du moyen d'alimentation en
25 carburant dans la chambre de combustion et du moyen d'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement seront décrites respectivement.

Tout d'abord, le moyen d'alimentation en carburant dans la chambre de combustion présente les caractéristiques suivantes :

- 30 (1) Du fait que le carburant est injecté dans chaque chambre de combustion, le carburant est suffisamment gazéifié.
- (2) Du fait que le carburant qui a été gazéifié et ainsi activé est introduit dans le boîtier de catalyseur 42, une réaction de combustion du carburant a lieu même lorsque la température de lit du catalyseur se trouve à une première température
35 (supposée être d'environ 200 °C), une température minimum nécessaire pour provoquer une réaction de combustion du carburant qui a été gazéifié et ainsi activé.
- (3) La quantité d'injection du carburant ne peut pas être
40 directement commandée car elle dépend de la quantité de

carburant requise déterminée sur la base de la valeur d'enfoncement de la pédale d'accélérateur. En outre, une grande quantité du carburant ne peut pas être utilisée.

- 5 (4) Le carburant ne peut pas être alimenté lorsque le moteur fonctionne sous une charge élevée ou lorsque le moteur est démarré afin d'éviter la génération d'un saut de couple ou autre.

10 Par ailleurs, le moyen d'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement présente les caractéristiques suivantes :

- 15 (1) Du fait que le carburant est injecté dans le passage de gaz d'échappement, on craint que le carburant ne soit pas gazéifié mais se fixe à la surface intérieure du passage de gaz d'échappement pour être condensé sur celle-ci, à moins que la température dans le passage de gaz d'échappement soit supérieure ou égale à une seconde température (supposée être d'environ 300 °C).

- 20 (2) Il peut arriver que le carburant ne soit pas complètement gazéifié et par conséquent qu'une partie du carburant s'écoule dans le boîtier de catalyseur 42 sous la forme de gouttelettes de carburant. Dans ce cas, le filtre est privé de chaleur sous forme de chaleur latente en vue de gazéifier complètement le gaz combustible comprenant des gouttelettes de carburant. De ce fait, une troisième température (supposée être d'environ 250 °C), qui est supérieure à la première
- 25 température, est employée en tant que température minimum nécessaire pour provoquer une réaction de combustion du carburant sur le filtre.

- 30 (3) Le carburant est fourni depuis un système d'alimentation en carburant séparé de celui destiné à fournir le carburant devant être utilisé dans la combustion du moteur. Il est de ce fait possible d'exécuter l'alimentation du carburant indépendamment du fonctionnement du moteur et de commander directement la quantité d'injection. En outre, une grande
- 35 quantité du carburant peut être utilisée.

Les caractéristiques du moyen d'alimentation en carburant dans la chambre de combustion et du moyen d'alimentation en carburant dans le passage d'échappement sont résumées comme suit. Tout d'abord, conformément au moyen d'alimentation en

40 carburant dans la chambre de combustion, le carburant peut être

alimenté même lorsque la température de lit du catalyseur est basse, bien que l'addition du carburant soit exécutée suivant l'état de fonctionnement du moteur. Cependant, une grande quantité du carburant ne peut pas être utilisée, et la quantité
5 d'injection ne peut pas être facilement ajustée. Conformément au moyen d'alimentation en carburant dans le passage d'échappement, par ailleurs, le carburant peut être alimenté indépendamment de l'état de fonctionnement du moteur et la quantité d'injection peut être facilement ajustée. Cependant, la température de lit
10 du catalyseur doit être élevée et la température dans le passage de gaz d'échappement est limitée.

Ensuite, les commandes exécutées en vue de déterminer s'il faut exécuter l'alimentation du carburant seront décrites ci-après. Les programmes sont déterminés sur la base des
15 caractéristiques des procédés respectifs en alimentation de carburant. Lorsqu'il est déterminé qu'il est nécessaire d'éliminer les matières particulaires accumulées, une température du gaz d'échappement sortant du catalyseur, une température du gaz d'échappement s'écoulant hors du catalyseur,
20 est tout d'abord mesurée par l'intermédiaire du capteur de température du gaz d'échappement 74. Si le carburant est alimenté lorsque la température dans le boîtier de catalyseur 42 se situe dans une plage de températures élevées (≥ 700 °C), la température augmente encore, ce qui peut résulter en une
25 dégradation par la chaleur du catalyseur des NOx 42b. La mesure ci-dessus est exécutée principalement pour empêcher l'alimentation du carburant lorsque la température dans le boîtier de catalyseur 42 se situe dans la plage de températures élevées.

30 Ensuite, une commande pour déterminer s'il faut exécuter l'alimentation du carburant par le moyen d'alimentation en carburant dans la chambre de combustion sera décrite. Après que la température du gaz d'échappement sortant du catalyseur est mesurée comme décrit ci-dessus, le fait que le moteur fonctionne
35 sous une charge élevée est déterminé sur la base de signaux provenant du capteur d'ouverture de l'accélérateur 76 et du capteur d'angle de vilebrequin 77, et la température d'un liquide réfrigérant du moteur est mesurée par l'intermédiaire d'une jauge de température d'eau (non représentée). Le régime du
40 moteur est particulièrement instable immédiatement après le

démarrage du moteur et de ce fait, dans un tel cas, le carburant ne peut pas être alimenté. Dans le mode de réalisation, par conséquent, la température du liquide réfrigérant mesurée est utilisée comme l'un des critères pour déterminer si le moteur a subi une montée en température après le démarrage du moteur. Ensuite, la température de lit du catalyseur est mesurée par l'intermédiaire du capteur de température de lit du filtre 79. S'il est déterminé que la température de lit est supérieure ou égale à la première température (200 °C), le carburant est alimenté dans les chambres de combustion.

Ensuite, une commande pour déterminer s'il faut alimenter le carburant par le moyen d'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement sera décrite. Après que la température du gaz d'échappement sortant du catalyseur est mesurée comme décrit ci-dessus, une température du gaz d'échappement entrant dans le catalyseur, une température du gaz d'échappement s'écoulant dans le boîtier de catalyseur 42, est mesurée par l'intermédiaire du capteur de température de gaz d'échappement entrant dans le catalyseur 78. Bien qu'il soit préférable, en fait, de mesurer réellement la température du gaz d'échappement au niveau de la partie d'injection de carburant, ceci est difficile en termes d'agencement des capteurs. Dans le mode de réalisation, de ce fait, la température du gaz d'échappement entrant dans le catalyseur est mesurée, et la température du gaz d'échappement au niveau de la partie d'injection de carburant est estimée à partir de la température du gaz d'échappement entrant dans le catalyseur détectée. Si la température du gaz d'échappement entrant dans le catalyseur est supérieure ou égale à la seconde température (300 °C), la température de lit du catalyseur est alors mesurée au moyen du capteur de température de lit du filtre 79. Si la température de lit est supérieure ou égale à la troisième température (250 °C), le carburant est alimenté dans le passage de gaz d'échappement et la commande d'alimentation en carburant en vue d'éliminer les matières particulaires est terminée.

Ci-après, la procédure d'une "commande d'alimentation en carburant" devant être exécutée par l'unité ECU 80 du moteur 1 dans le mode de réalisation sera décrite en détail en faisant référence à un organigramme de la figure 6.

La figure 6 est un organigramme représentant les traitements dans un "sous-programme d'élimination des MP du filtre à particules", un sous-programme devant être exécuté pour commander le procédé d'alimentation en carburant et la quantité de carburant d'alimentation lors de l'exécution d'une commande d'élimination des matières MP. L'unité ECU 80 commence à exécuter le sous-programme en même temps que le démarrage du moteur 1.

Lorsque ce sous-programme est lancé, l'unité ECU 80 détermine tout d'abord à l'étape S101 s'il est nécessaire d'exécuter la commande d'élimination des matières MP sur la base de l'historique de fonctionnement, d'un signal provenant du capteur de pression 90 et d'autres composants. L'historique de fonctionnement est établi en accumulant les données de fonctionnement obtenues par l'intermédiaire du capteur d'ouverture de l'accélérateur 76, du capteur d'angle de vilebrequin 77, du compteur temporisateur 85 et ainsi de suite. S'il est déterminé qu'il est inutile d'exécuter la commande d'élimination des matières MP, l'unité ECU 80 passe alors à l'étape S112 et à l'étape S113 pour réaliser une combustion normale sans exécuter soit l'alimentation en carburant dans la chambre de combustion, soit l'alimentation en carburant dans le passage d'échappement, et l'unité ECU 80 termine ensuite le sous-programme. Inversement, s'il est déterminé à l'étape S101 que la commande d'élimination des matières MP doit être exécutée, l'unité ECU 80 passe à l'étape S102.

A l'étape S102, l'unité ECU 80 détermine l'état du boîtier de catalyseur 42 sur la base de la température du gaz d'échappement sortant du catalyseur. Si la température du gaz d'échappement sortant du catalyseur est supérieure ou égale à 700 °C, l'unité ECU 80 passe à l'étape S112 et à l'étape S113 pour réaliser une combustion normale sans exécuter soit l'alimentation en carburant dans la chambre de combustion, soit l'alimentation en carburant dans le passage d'échappement, et l'unité ECU 80 termine ensuite le sous-programme. A l'inverse, s'il est déterminé à l'étape S102 que la température du gaz d'échappement sortant du catalyseur est inférieure à 700 °C, l'unité ECU 80 passe à l'étape S103.

Dans les étapes suivantes après l'étape S102, les traitements sont réalisés pour déterminer si l'alimentation en

carburant dans la chambre de combustion peut être exécutée. Tout d'abord, la température du liquide de réfrigérant du moteur 1 est mesurée à l'étape S103. Si la température du liquide réfrigérant est inférieure à 60 °C, l'unité ECU 80 passe à l'étape S107 et à l'étape S108 sans exécuter l'alimentation en carburant dans la chambre de combustion. A l'inverse, si la température du liquide réfrigérant est supérieure ou égale à 60 °C, l'unité ECU 80 passe à l'étape S104.

A l'étape S104, l'unité ECU 80 détermine l'état de charge du moteur. S'il est déterminé que le moteur fonctionne sous une charge élevée, l'unité ECU 80 passe à l'étape S107 et à l'étape S108 sans exécuter l'alimentation en carburant dans la chambre de combustion. A l'inverse, si le moteur fonctionne sous une faible charge, l'unité ECU 80 passe à l'étape S105.

A l'étape S105, la température de lit du catalyseur est mesurée. Si la température de lit est inférieure à 200 °C, l'unité ECU 80 passe à l'étape S107 et à l'étape S108 sans exécuter l'alimentation en carburant dans la chambre de combustion. A l'inverse, si la température de lit est supérieure ou égale à 200 °C, l'unité ECU 80 passe à l'étape S106 pour exécuter l'alimentation en carburant dans la chambre de combustion et passe ensuite à l'étape S108.

A partir de l'étape S108, des traitements sont réalisés pour déterminer si l'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement peut être exécutée. Tout d'abord, la température du gaz d'échappement entrant dans le catalyseur est mesurée à l'étape S108. Si la température du gaz d'échappement entrant dans le catalyseur est inférieure à 300 °C, l'unité ECU 80 passe à l'étape S111 pour terminer le sous-programme sans exécuter l'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement. A l'inverse, si la température du gaz d'échappement entrant dans le catalyseur est supérieure ou égale à 300 °C, l'unité ECU 80 passe à l'étape S109.

A l'étape S109, la température de lit du catalyseur est mesurée. Si la température de lit est inférieure à 250 °C, l'unité ECU 80 passe à l'étape S111 pour terminer le sous-programme sans exécuter l'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement. A l'inverse, si la température de lit est supérieure ou égale à 250 °C, l'unité ECU 80 passe à l'étape S110 pour exécuter l'alimentation en carburant dans le

passage de gaz d'échappement et termine ensuite le sous-programme.

Dans le sous-programme décrit ci-dessus, l'unité ECU 80 détermine tout d'abord s'il faut exécuter l'alimentation en carburant dans la chambre de combustion et détermine ensuite s'il faut exécuter l'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement. En fait, ces deux commandes d'alimentation en carburant sont exécutées de préférence indépendamment l'une de l'autre et sont représentées dans des sous-programmes de commande séparés. Cependant, dans le sous-programme du mode de réalisation, l'unité ECU 80 détermine l'exécution de l'alimentation en carburant dans la chambre de combustion et ensuite de l'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement pour la commodité de la commande. Ainsi, lorsque l'unité ECU 80, au contraire, est agencée pour déterminer l'exécution de l'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement et ensuite de l'alimentation en carburant dans la chambre de combustion, ceci ne fait aucune différence dans la commande réelle.

Ci-après, un exemple de modification du mode de réalisation décrit ci-dessus sera décrit, dans lequel un boîtier de catalyseur 110 comprenant un dispositif de filtrage 142, comme représenté sur la figure 7, est utilisé à la place du boîtier de catalyseur (dispositif de filtrage) 42. Dans le même temps, la figure 7 correspond à la figure 3.

Cet exemple de modification diffère du mode de réalisation en ce que : un catalyseur 120 présentant une propriété oxydante, tel que ce que l'on appelle un catalyseur d'oxydation, est disposé en amont du filtre 42a (142a sur la figure 7) du dispositif de filtrage 42 (142 sur la figure 7), un capteur de température de gaz d'échappement 178 est prévu entre le catalyseur 120 et le filtre 142a, et le capteur de température de lit du filtre 79 n'est pas prévu. Dans l'exemple de modification, le boîtier de catalyseur 110 est donc constitué du catalyseur 120, du filtre 142a et du capteur de température de gaz d'échappement 178.

Dans le boîtier de catalyseur 110, plus particulièrement, le filtre 142a du dispositif de filtrage 142 et le catalyseur 120, qui est un catalyseur en structure de nid d'abeilles présentant une propriété oxydante (par exemple un catalyseur d'oxydation

supportant du platine Pt) et qui est disposé en amont du filtre 142a, sont agencés en série tout en étant espacés l'un de l'autre, et le capteur de température de gaz d'échappement 178 est prévu entre le catalyseur 120 et le filtre 142a.

5 Avec cet agencement, le gaz combustible qui a été alimenté dans le gaz d'échappement au cours de l'injection de carburant secondaire et/ou le gaz combustible contenant des gouttelettes de carburant qui a été injecté dans le passage de gaz d'échappement sont brûlés (oxydés) sur le catalyseur d'oxydation
10 120, en augmentant ainsi la température du gaz d'échappement passant au travers de celui-ci. Lorsque le gaz d'échappement ainsi chauffé s'écoule dans le filtre 142a, il amène les matières particulaires qui ont été piégées et accumulées sur le filtre 142a à être oxydées et ainsi éliminées de celui-ci.

15 Dans le même temps, un catalyseur présentant une propriété oxydante, tel qu'un catalyseur des NOx supportant du platine ou autre, peut être utilisé en tant que catalyseur 120 disposé en amont du filtre 142a.

Le catalyseur d'oxydation 120 est disposé en amont du filtre
20 142a dans l'exemple de modification, de ce fait il est inutile de supporter un catalyseur sur le filtre 142a. Cependant, un filtre supportant un catalyseur des NOx comme représenté sur la figure 3 peut être utilisé en tant que filtre 142a.

Ci-après, une procédure de commande employée dans l'exemple
25 de modification sera décrite.

Tout d'abord, il est déterminé s'il faut exécuter l'injection de carburant secondaire dans la chambre de combustion 20 du moteur à combustion interne 1. Dans ce cas, l'injection de carburant secondaire est exécutée dans la chambre
30 de combustion 20 du moteur à combustion interne 1 si la température du gaz d'échappement détectée par le capteur de température de gaz d'échappement 178 a atteint une température qui amène un gaz combustible dans le gaz d'échappement à être oxydé sur le catalyseur d'oxydation 120 (par exemple, 200 °C ou
35 plus).

Ensuite, il est déterminé s'il faut injecter du carburant dans le passage de gaz d'échappement sur la base des deux conditions suivantes. La première condition exige que la température du gaz d'échappement détectée par le capteur de
40 température de gaz d'échappement 178 soit suffisamment élevée

pour amener un gaz combustible comprenant des gouttelettes de carburant dans le gaz d'échappement à être oxydé sur le catalyseur d'oxydation 120 (par exemple, 250 °C ou plus). La seconde condition exige que la température (température du gaz d'échappement) dans une partie du passage de gaz d'échappement dans laquelle du carburant a été injecté depuis la buse d'alimentation en carburant 17, laquelle température est estimée sur la base des conditions de fonctionnement du moteur 1 (c'est-à-dire la charge et le régime du moteur), soit une température qui ne provoque pas de condensation du carburant injecté dans la partie du moteur à combustion interne 1 (par exemple, 300 °C ou plus). Lorsque ces deux conditions sont toutes deux satisfaites, du carburant est injecté depuis la buse d'alimentation en carburant 17 dans le passage de gaz d'échappement.

En outre, dans l'exemple de modification, le capteur de température du gaz d'échappement 178 étant disposé entre le catalyseur d'oxydation 120 et le filtre 142a, il est possible de détecter directement la température du gaz d'échappement chauffé grâce à l'oxydation du carburant contenu dans celui-ci sur le catalyseur d'oxydation 120 qui est disposé en amont du capteur de température du gaz d'échappement 178.

Dans le même temps, les températures employées dans les traitements respectifs du sous-programme du mode de réalisation ne sont pas limitées, mais peuvent être modifiées suivant le moteur à combustion interne et le système d'échappement devant être utilisés. De même, à l'étape S108, la température de lit est mesurée et utilisée en vue d'estimer la température du gaz d'échappement au niveau de la partie d'injection de carburant. Cependant, ceci ne constitue simplement qu'un procédé d'estimation de la température du gaz d'échappement au niveau de la partie d'injection de carburant. Ainsi, la température du gaz d'échappement au niveau de la partie d'injection de carburant peut être estimée dans un autre procédé sur la base, par exemple, de la température du liquide réfrigérant, de la température de l'air d'admission, de la quantité d'injection, du régime, etc. A savoir, tout procédé peut être employé tant que la température peut être estimée. De même, ceci est identique dans le cas d'autres traitements. Par exemple, la température du liquide réfrigérant et la charge du moteur sont respectivement déterminées aux étapes S103 et S104 du sous-programme.

Cependant, chacun de ces traitements n'est simplement qu'un exemple des traitements destinés à déterminer s'il faut exécuter l'injection de carburant secondaire dans le moteur.

De même, lorsque l'alimentation en carburant dans la chambre
5 de combustion et l'alimentation en carburant dans le passage de
gaz d'échappement sont toutes deux autorisées à être exécutées,
l'une de celles-ci ou les deux peuvent être exécutées. Par
exemple, dans un cas où les températures prédéterminées
employées dans les conditions thermiques respectives en vue
10 d'exécuter l'alimentation en carburant dans le passage de gaz
d'échappement sont suffisamment satisfaites, si le moteur est au
ralenti, il n'est pas nécessaire d'exécuter l'alimentation en
carburant dans le passage de gaz d'échappement. Dans ce cas, les
matières particulaires accumulées sur le catalyseur peuvent être
15 suffisamment éliminées en exécutant uniquement l'alimentation en
carburant dans la chambre de combustion. De même, dans un cas où
le moteur continue de fonctionner sous une charge élevée et une
charge basse alternativement, les matières particulaires peuvent
être suffisamment éliminées en exécutant uniquement
20 l'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement
tandis que le moteur fonctionne sous une faible charge sans
exécuter l'alimentation en carburant dans la chambre de
combustion.

Comme décrit ci-dessus, le système de purification de gaz
25 d'échappement de l'invention exécute l'alimentation du carburant
suivant les états du moteur à combustion interne et du système
d'échappement afin d'augmenter la température du filtre à
particules servant à provoquer une oxydation des matières
particulaires contenues dans le gaz d'échappement. Ainsi, les
30 matières particulaires peuvent être éliminées de façon fiable
avec efficacité.

Plus particulièrement, le système de purification de gaz
d'échappement de l'invention choisit un procédé d'alimentation
en carburant approprié sur la base de l'état de fonctionnement
35 du moteur à combustion interne et de l'état thermique du système
d'échappement. Ainsi, les matières particulaires peuvent être
brûlées de façon stable sur le filtre sans provoquer de
dégradation des composants du gaz d'échappement s'écoulant dans
le boîtier de catalyseur et en empêchant le carburant alimenté
40 d'obstruer le boîtier de catalyseur.

Un système et un procédé de purification de gaz d'échappement destinés à un moteur à combustion interne sont réalisés, lesquels utilisent un moyen d'alimentation en carburant dans la chambre de combustion (13) conçu pour
5 alimenter une partie du carburant, devant être injecté dans des chambres de combustion respectives (20), en tant que carburant d'injection secondaire, et un moyen d'alimentation en carburant dans le passage de gaz d'échappement (17) conçu pour alimenter directement du carburant dans un passage de gaz d'échappement.
10 Le moyen d'alimentation en carburant dans la chambre de combustion (13) est utilisé lorsque l'injection de carburant secondaire peut être exécutée et qu'une température de lit d'un filtre à particules (42a) est supérieure ou égale à une première température. Le moyen d'alimentation en carburant dans le
15 passage de gaz d'échappement (17) est utilisé lorsqu'une température dans le passage de gaz d'échappement est supérieure ou égale à une seconde température et que la température de lit du filtre (42a) est supérieure ou égale à une troisième température.

REVENDEICATIONS

1. Système de purification de gaz d'échappement destiné à un moteur à combustion interne comprenant :

5 un dispositif de filtrage à particules (42, 142) destiné à piéger des matières particulaires contenues dans le gaz d'échappement du moteur à combustion interne, lequel dispositif de filtrage (42, 142) peut être régénéré en brûlant les matières
10 carburant au gaz d'échappement et d'une élévation de la température du filtre en brûlant le carburant,

un dispositif d'injection de carburant dans la chambre de combustion (13) disposé dans une chambre de combustion dudit moteur qui est capable d'exécuter non seulement une injection de
15 carburant principale prévue pour générer un couple, mais également une injection de carburant secondaire prévue pour augmenter la température du dispositif de filtrage (42, 142) en brûlant ce carburant dans le passage d'échappement, et

un dispositif d'injection de carburant dans le passage de
20 gaz d'échappement (17) disposé dans un passage de gaz d'échappement dudit moteur en amont dudit dispositif de filtrage (42, 142),

caractérisé en ce que

lorsqu'un traitement de récupération du dispositif de
25 filtrage (42, 142) doit être exécuté,

du carburant peut être alimenté par ledit dispositif d'injection de carburant dans la chambre de combustion (13) lorsqu'une température de lit du dispositif de filtrage (42, 142) est supérieure ou égale à une première température, et

30 du carburant peut être alimenté par ledit dispositif d'injection de carburant dans le passage de gaz d'échappement (17) lorsqu'une température du gaz d'échappement est supérieure ou égale à une seconde température et que la température de lit du dispositif de filtrage (42, 142) est supérieure ou égale à
35 une troisième température.

2. Système de purification de gaz d'échappement selon la revendication 1, **caractérisé en ce que :**

40 du carburant est alimenté par l'un du dispositif d'injection de carburant dans la chambre de combustion (13) et du dispositif

d'injection de carburant dans le passage de gaz d'échappement (17) ou par les deux lorsque la température de lit du dispositif de filtrage (42, 142) est supérieure ou égale à la première température qui provoque une oxydation du gaz combustible et à la troisième température qui provoque une oxydation du gaz combustible comprenant des gouttelettes de carburant, et qu'une température du gaz d'échappement dans le passage de gaz d'échappement est supérieure ou égale à la seconde température qui ne provoque pas de condensation du carburant injecté dans le passage de gaz d'échappement.

3. Système de purification de gaz d'échappement selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le dispositif de filtrage (42, 142) comprend un filtre (42a, 142a) supportant un catalyseur.

4. Système de purification de gaz d'échappement selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la première température est supérieure ou égale à 200 °C et la troisième température est supérieure ou égale à 250 °C.

5. Système de purification de gaz d'échappement selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la seconde température est supérieure ou égale à 300 °C.

6. Système de purification de gaz d'échappement selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** :

le filtre (42a, 142a) supporte un catalyseur des NOx de type à réduction de stockage (42b) conçu pour stocker les oxydes d'azote contenus dans un gaz d'échappement lorsqu'une concentration en oxygène dans le gaz d'échappement est élevée et pour réduire les oxydes d'azote stockés lorsque la concentration en oxygène diminue et que du carburant servant d'agent réducteur est présent.

7. Système de purification de gaz d'échappement selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce** qu'il comprend en outre un capteur de température de lit du filtre (79) disposé à l'intérieur du dispositif de filtrage (42) en vue de détecter la température de celui-ci.

8. Système de purification de gaz d'échappement selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce** qu'il comprend en outre un capteur de température de gaz d'échappement (78, 178) disposé en amont dudit dispositif de filtrage (42, 142) en vue de détecter la température du gaz d'échappement.

9. Système de purification de gaz d'échappement selon l'une quelconque des revendications 3 à 8, **caractérisé en ce** qu'il comprend en outre un capteur de gaz d'échappement (74) disposé en aval du dispositif de filtrage (42, 142), le capteur de gaz d'échappement (74) étant conçu pour détecter une température du gaz d'échappement s'écoulant hors du catalyseur.

10. Procédé de purification de gaz d'échappement destiné à un moteur à combustion interne, dans lequel le moteur à combustion interne comprend :

un dispositif de filtrage à particules (42, 142) destiné à piéger les matières particulaires contenues dans le gaz d'échappement du moteur à combustion interne, lequel dispositif de filtrage (42, 142) peut être régénéré en brûlant les matières particulaires piégées par le filtre au moyen d'une fourniture de carburant au filtre et d'une élévation de la température du filtre en brûlant le carburant,

un dispositif d'injection de carburant dans la chambre de combustion (13) disposé dans une chambre de combustion dudit moteur qui est capable d'exécuter non seulement une injection de carburant principale prévue pour générer un couple, mais également une injection de carburant secondaire prévue pour augmenter la température du dispositif de filtrage (42, 142) en brûlant ce carburant dans le passage d'échappement, et

un dispositif d'injection de carburant dans le passage de gaz d'échappement (17) disposé dans un passage de gaz d'échappement dudit moteur en amont du dispositif de filtrage (42, 142),

caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :
déterminer le besoin d'un traitement de régénération du dispositif de filtrage (42, 142) et, lorsque le besoin d'un procédé de régénération est déterminé :

déterminer une température de lit du dispositif de filtrage (42, 142),

déterminer une température du gaz d'échappement,
permettre une injection de carburant par le dispositif
d'injection de carburant dans la chambre de combustion (13)
lorsqu'une température de lit du dispositif de filtrage (42,
5 142) est supérieure ou égale à une première température, et
permettre une injection de carburant par ledit dispositif
d'injection de carburant dans le passage de gaz d'échappement
(17) lorsqu'une température du gaz d'échappement est supérieure
ou égale à une seconde température et que la température de lit
10 du dispositif de filtrage (42, 142) est supérieure ou égale à
une troisième température.

11. Procédé de purification de gaz d'échappement selon la
revendication 10, **caractérisé** en ce qu'il comprend en outre
15 l'étape consistant à :

injecter du carburant par l'un du dispositif d'injection de
carburant dans la chambre de combustion (13) et du dispositif
d'injection de carburant dans le passage de gaz d'échappement
(17) ou par les deux lorsque la température de lit du filtre
20 (42, 142) est supérieure ou égale à la première température qui
provoque une oxydation du gaz combustible et à la troisième
température qui provoque une oxydation du gaz combustible
comprenant des gouttelettes de carburant, et qu'une température
du gaz d'échappement dans le passage de gaz d'échappement est
25 supérieure ou égale à la seconde température qui ne provoque pas
de condensation du carburant injecté dans le passage de gaz
d'échappement.

12. Procédé de purification de gaz d'échappement selon la
30 revendication 10 ou 11, **caractérisé** en ce qu'il comprend en
outre les étapes consistant à :

détecter la température du gaz d'échappement s'écoulant hors
du dispositif de filtrage (42, 142), et

empêcher l'alimentation du carburant depuis le moyen
35 d'alimentation en carburant dans la chambre de combustion (13)
et le moyen d'alimentation en carburant dans le passage de gaz
d'échappement (17) lorsque la température détectée du gaz
d'échappement est supérieure ou égale à une température
prédéterminée, une température limite supérieure pour assurer

qu'une dégradation par la chaleur du catalyseur n'est pas provoquée.

FIG. 2

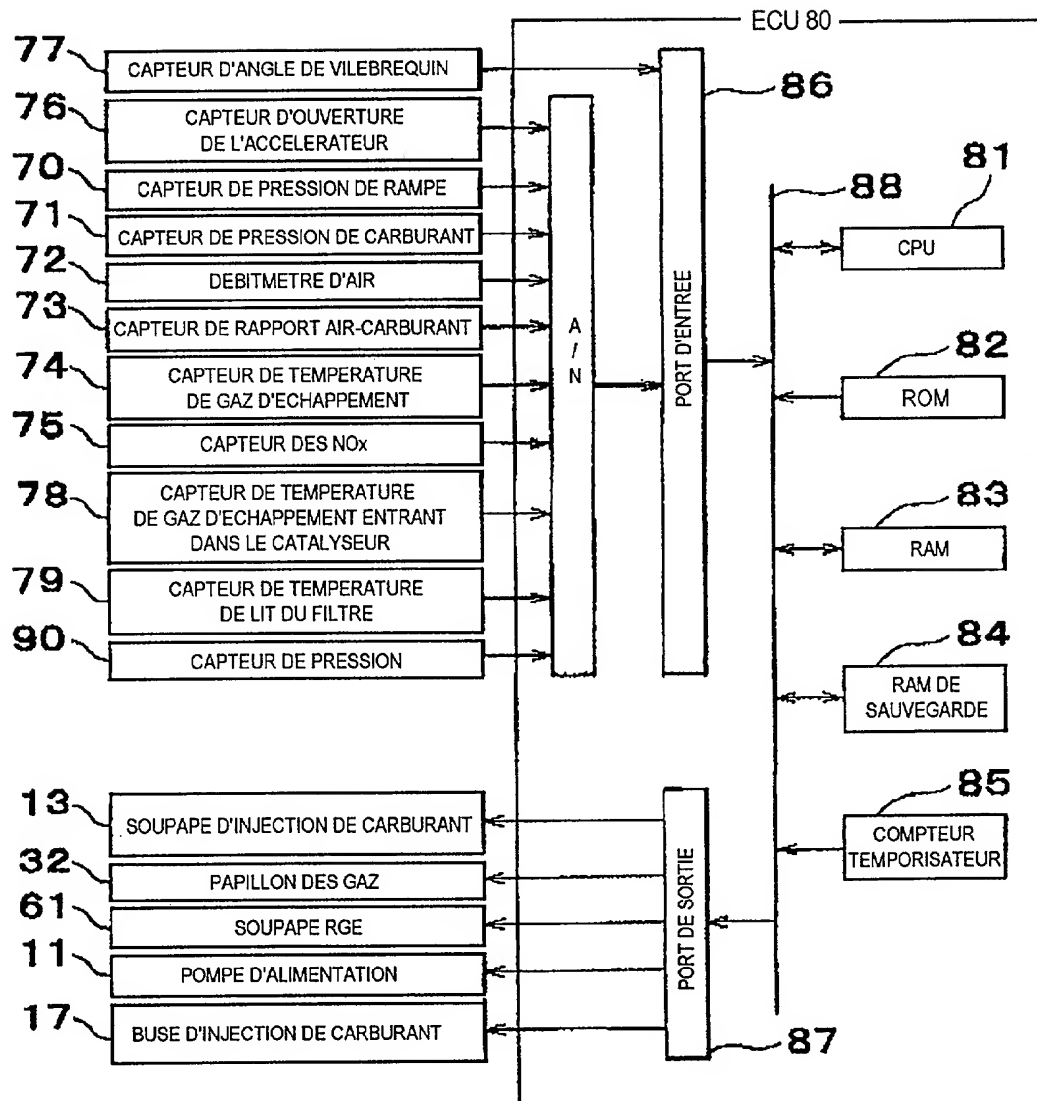


FIG. 3

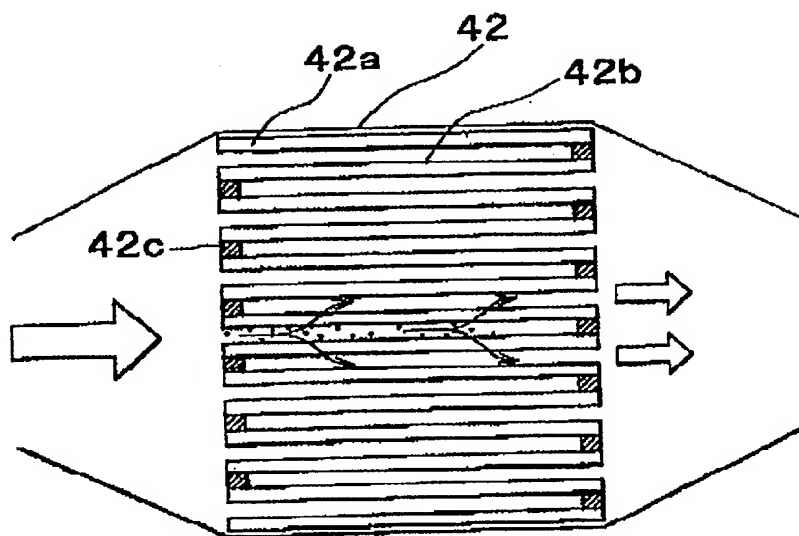


FIG. 4

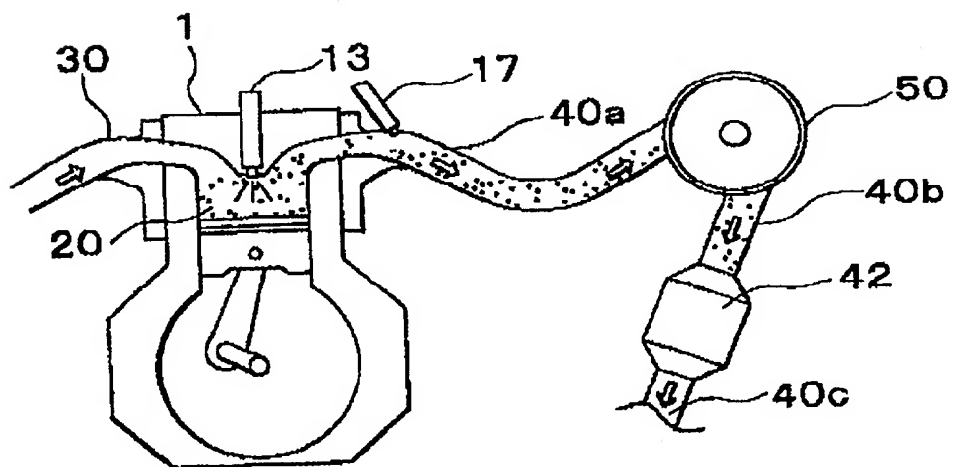


FIG. 5

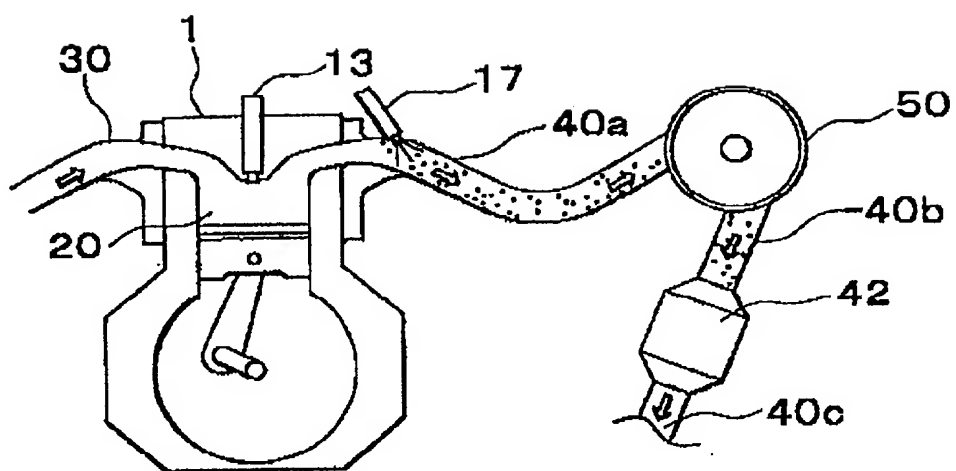


FIG. 6

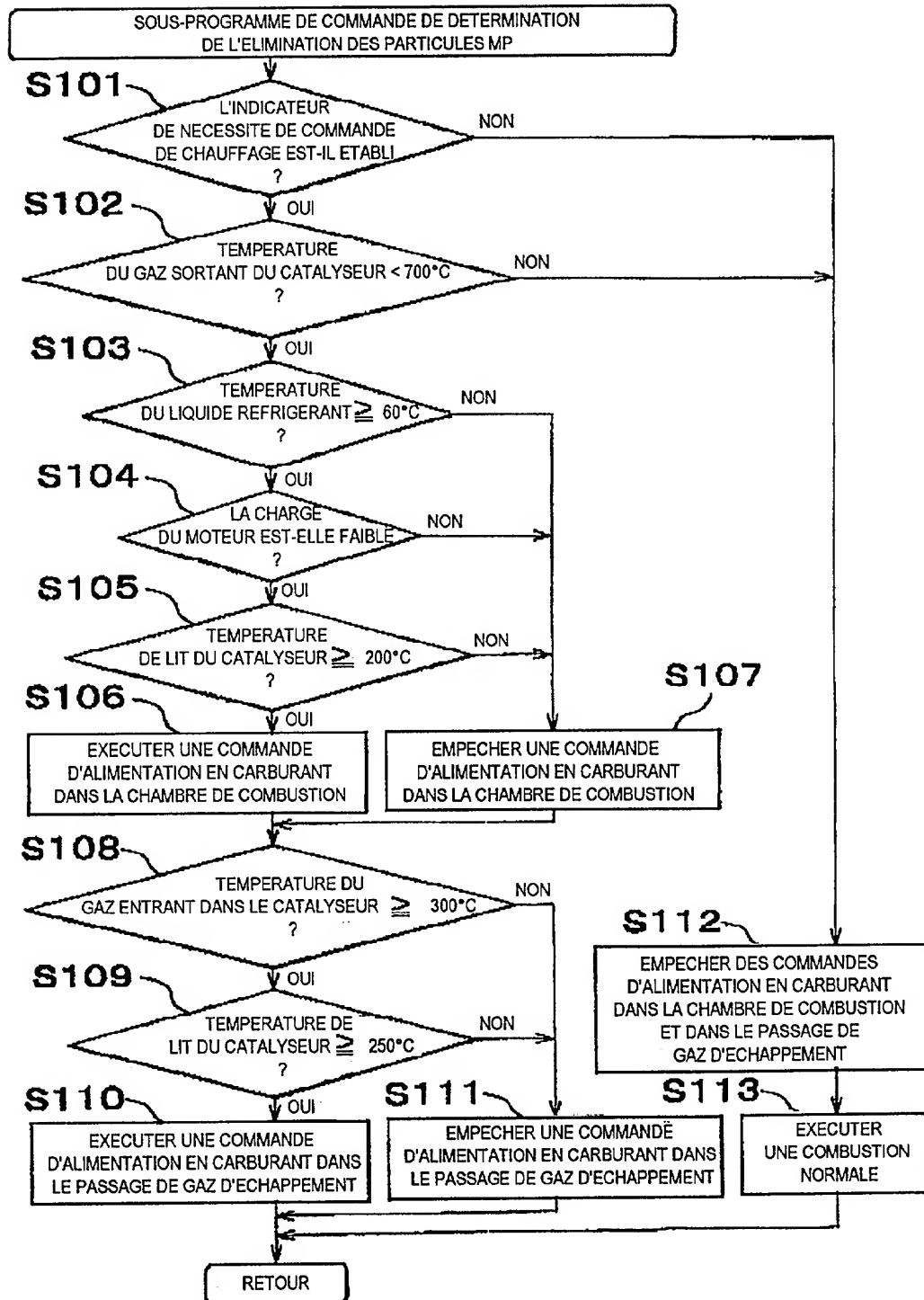


FIG. 7

